

М. Р. ШУРА-БУРА

ПРОГРАММИРОВАНИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
ДЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ
МАШИН

МОСКВА — 1956

ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ПУТИ РАЗВИТИЯ СОВЕТСКОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

М. Р. ШУРА-БУРА

ПРОГРАММИРОВАНИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
ДЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ
МАШИН

МОСКВА — 1956

ПРОГРАММИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Огромное развитие в нашей стране науки и техники потребовало обеспечения народного хозяйства новыми мощными вычислительными средствами, прежде всего максимально рационального использования имеющихся в настоящее время вычислительных средств.

При оценке производительности быстродействующей вычислительной машины принято в первую очередь учитывать длительность элементарного такта или, что то же самое, число операций в секунду при работе с внутренним запоминающим устройством. Параметры быстродействия буферной памяти (если она существует) и устройства ввода и вывода, конечно, также учитываются, однако часто считаются второстепенными. В оценку производительности входит, кроме того, число рабочих часов машины в сутки и средняя продолжительность работы без сбоев. Все эти цифры безусловно необходимы для правильной оценки производительности и ни одну из них нельзя считать второстепенной. Для оценки истинной производительности машины безусловно следует учитывать и удобство работы на машине на всех стадиях реализации решения задачи.

Значение перечисленных параметров быстродействия различных узлов машины не может, конечно, привести к правильной оценке производительности без учета объема запоминающих устройств. Однако оценка производительности, основанная на учете всех данных машины, является все же лишь относительной по сравнению с другими машинами.

Истинная же производительность машины должна определяться числом фактически решенных на машине задач, временем, необходимым для реализации решения каждой задачи, и количеством людей, занятых на подготовке и проведении задач и технической эксплуатации машины. При этом объем и сложность решения той или иной задачи надо оценивать не числом операций, выполняемых машиной в процессе решения, а лишь объемом вычислений и сложностью организации вычислений при применении других средств. Только в таком случае можно правильно оценить роль и значение машин, как нового средства вычислений и, что для нас особенно

важно, найти правильные решения при создании новых машин и рационально использовать имеющиеся машины.

Численное решение любой задачи есть определение значений некоторой совокупности функций от конечного числа переменных — исходных данных задачи:

$$\bar{u}_i = f_i(\bar{x}, \dots, \bar{x}_m), i = 1, 2, 3, \dots, N.$$

Если совокупность исходных данных рассматривать как M — вектор \bar{x} , а результаты как некоторый N — вектор \bar{u} , то задачу можно записать кратко, как вычисление по «формуле» $\bar{u} = f(\bar{x})$, где f — вектор, i — функция.

Само собой разумеется, что функция f задана, т. е. определен алгоритм получения \bar{u} по \bar{x} . Сложность этого алгоритма определяется сложностью задачи.

Любой алгоритм может быть описан в терминах элементарных операций универсальной вычислительной машины. Такое описание является в сущности программой для решения задачи. Если бы программы, применяемые при решении задач, являлись бы просто таким описанием, то вопрос о составлении программы сводился бы к «переводу» заданного алгоритма на «язык» элементарных операций машины. Уже такой перевод требует расширения заданного алгоритма, так как при этом необходимо учитывать распределение и объем памяти для численного материала и программы, невозможность проведения операций над несколькими числами без фиксации промежуточных результатов в некоторых ячейках памяти, запрет записи нового результата на место нужной в дальнейшем величины и т. д.

Формализовать и автоматизировать такое расширение заданного алгоритма, конечно, не очень трудно, однако такой непосредственный «перевод» оказывается по существу непригодным. Дело в том, что в процессе решения всякой задачи на машине необходим этап ввода исходной информации.

Для автоматической цифровой машины исходной информацией, помимо значений аргументов x_1, \dots, x_m , являются приказы программы.

Поэтому время, которое требуется для решения задачи, заведомо больше времени, затрачиваемого на ввод программы. В случае если в программе, вводимой в машину перед решением задачи, выписаны в виде команд все элементарные операции, которые нужно выполнить для определения значений вектора-функции $\bar{f}(\bar{x})$, то скорость выполнения одной элементарной операции при решении задачи ограничивается скоростью ввода одной команды. Для машин, в которых при работе с информацией внутри машины скорость выполнения команды во много раз превосходит скорость ввода этой команды во внутреннюю память машины, программы такого типа неприемлемы.

В связи с этим в действительности программы являются реализацией в терминах элементарных операций машины более общего

алгоритма, осуществляющего, помимо заданного алгоритма вычисления значений $\bar{f}(\bar{x})$, некоторые вспомогательные операции, обеспечивающие создание внутри машины команд для выполнения заданного алгоритма.

Обычно конкретную математическую задачу можно численно решать различными методами. Далеко не всякий численный метод, удобный при ручных вычислениях, оказывается удобным для реализации на машине. Чем однороднее метод, тем меньше «особых случаев» возникает при его применении; тем он удобнее для реализации на машине. Однако следует иметь в виду, что даже при работе на машинах с высоким быстродействием нельзя забывать о числе операций, необходимых для решения задачи. На этом стоит остановиться подробнее, так как широко распространено мнение, что вопрос о количестве операций является второстепенным. Такое ошибочное суждение приводит к неверной оценке целесообразности исходного алгоритма, с одной стороны, и к выбору нерационального расширения заданного алгоритма — с другой. Часто выбирают простейшие из известных численных методов, не принимая во внимание количество операций, необходимых для решения. Конечно, простейшие методы, как правило, легко программируются, и, с этой точки зрения, они предпочтительнее. При решении несложных задач, расчёт которых даже таким простейшим методом занимает небольшое время, соизмеримое с временем ввода в машину исходной информации и вывода полученных результатов, вопрос о выборе более совершенного метода обычно не возникает. Однако истинная производительность машины в таком режиме, конечно, невелика, и его нельзя считать режимом нормальной эксплуатации быстродействующей машины. В случае же решения сложных задач количество необходимых операций для решения простейшим методами и объем исходной информации для реализации этих методов возрастает во много раз, и поэтому реализация более сложного метода может повысить истинную производительность машины во много раз. Однако, в то время, как простейшие известные методы оказываются обычно удобными для программирования, более сложные методы ручных вычислений часто мало пригодны для реализации на машине. Решение возникающего здесь противоречия следует искать в создании новых методов, предназначенных для реализации на быстродействующих автоматических машинах. В некоторых случаях такой новый метод может отличаться от известных методов лишь некоторыми деталями, но в ряде случаев требуется существенно новая методика. В частности, требуется разработка методики решения задач, практическое решение которых ранее не проводилось из-за их сложности и громоздкости.

Но даже при правильном выборе исходного алгоритма при его расширении необходимо руководствоваться принципом экономии числа операций. Часто в целях незначительного упрощения программы допускают лишний счет. Иногда такой лишний счет увеличивает

время решения незначительно, но можно привести примеры, когда нерациональное программирование увеличивало время решения в десятки раз. На вопрос об экономии счетного времени все еще мало обращают внимания. В тоже время здесь скрыты очень большие резервы мощности математических машин.

Так как определенная часть машинного времени при решении задачи по новой программе затрачивается на предварительную проверку правильности работы программы, фактическое время, затраченное на решение одного варианта задачи, будет тем меньше, чем большее количество вариантов будет решено с помощью данной программы. С этой точки зрения следует предпочесть более универсальные программы, охватывающие более широкий класс задач. Именно при создании таких программ следует обращать особое внимание на их экономичность в работе. Конечно, нельзя отказаться от экспериментальных программ, заранее рассчитанных на то, что по ним будут проведены сравнительно небольшие вычисления. Без таких экспериментов невозможна успешная работа по созданию новых машинных методов вычислений. Однако для этой цели, а также для решения небольших задач, рациональнее использовать машины, отличные от машин, предназначенных для решения больших задач во многих вариантах.

Имеющийся в нашем распоряжении опыт доказывает возможность и целесообразность создания новых специально машинных методов вычислений и подтверждает необходимость тщательного обсуждения степени универсальности создаваемой программы в целях ее более полного применения в дальнейшем. Успешная работа по созданию новых методов вычислений возможна лишь при тесном контакте работников, занимающихся математической постановкой задач, с программистами. Целесообразность тесного контакта не означает, однако, смешение функций. Вопрос о выборе расширенного алгоритма решения столь же существенен, как и правильный выбор исходного алгоритма, в тоже время эта сторона дела имеет свои специфические особенности и целесообразно, чтобы данная часть работы проводилась программистом.

После того, как выбраны алгоритм решения и схема реализации его в машине, т. е. расширенный алгоритм решения задачи, необходимо записать (закодировать) его в виде приказов в коде машины. Эта часть работы по подготовке программы решения задачи является в значительной степени работой технической и наиболее трудоемкой. Ошибку, допущенную на данном этапе работы, обычно трудно обнаружить в дальнейшем. Следовательно, необходимо обращать особое внимание на тщательность выполнения указанного участка работы. С другой стороны, данная часть работы легче всего поддается формализации, а следовательно, и автоматизации.

С помощью программирующей программы данный этап работы может быть полностью formalизован и автоматизирован. Применение программирующей программы резко снижает число ошибок.

допускаемых на этой стадии программирования, так как необходимая ручная работа по подготовке информации для программирования на машине однозначно определена заданием и проводится в «две руки» с обязательным контролем совпадения двух комплектов информации.

Несмотря на наличие программирующей программы, некоторая, правда, незначительная, часть программ будет по той или иной причине составляться «на руках». Существенное облегчение указанного способа составления программы может дать достаточно универсальная программа «автоматического присвоения адресов», дающая возможность написания программы «в буквах» с последующей автоматической обработкой ее с помощью машины.

После того, как программа тем или иным способом записана в виде приказов в коде машины, необходимо убедиться в правильности ее работы. Для этой цели следует решить с помощью составленной программы часть задачи (возможно, модельной) и, анализируя полученные результаты, сделать вывод о правильности программы. Обычно желательно иметь для этого анализа заведомо верные результаты. Первые пробные просчеты по новой программе должны занимать как можно меньше времени работы машины. Опыт показывает, что для таких просчетов достаточно время порядка нескольких минут. Для этих просчетов можно использовать время, так или иначе остающееся свободным при смене решаемых задач из-за необходимости в смене магнитных лент, замены содержимого ячеек постоянной памяти и т. д. Возможность использования указанного времени определяется быстротой и надежностью работы вводных и выводных устройств машины, с одной стороны, и правильной подготовкой проведения пробного просчета и принятием необходимых мер контроля ввода и вывода, с другой стороны. Особое внимание следует обратить на недопустимость «ручной работы» за пультом, в результате которой теряется время и появляются трудно учитываемые в дальнейшем анализе ошибки.

Автоматизация контроля готовой программы является довольно сложной проблемой, удачное решение которой может существенно повысить «коэффициент полезного действия» машины.

Для автоматизации контроля применяется так называемая программа контроля, которая в ряде случаев оказывается мощным средством обнаружения ошибок в программе. В настоящее время в нашем распоряжении имеется значительно более совершенная программа контроля, применение которой, как мы надеемся, почти полностью решит имеющиеся здесь трудности, по крайней мере для программ, удовлетворяющих некоторым стандартным требованиям. Новая программа контроля даст, конечно, возможность контролировать любую программу, однако ее применение даст наиболее ощутимые выгоды для программ, составленных при помощи программирующей программы.

После того, как установлено, что составленная программа функционирует правильно, необходимо решение задач с помощью этой программы передать лицу, специально занимающемуся расчетами, освободив программиста для работы по составлению новых программ. Целесообразность такой передачи очевидна, однако она налагает определенные требования к тщательности изготовления программы, простоте обращения с программой и полноте документации, относящейся к программе. Эти дополнительные требования в конечном счете нисколько не затрудняют, а скорей, наоборот, облегчают программирование. К лицам, отвечающим за подготовку и проведение задачи на машине по отложенным программам, следует все же предъявлять некоторые минимальные требования знаний основ программирования и знакомства с особенностями организацией программ, по которым решается проводимая ими задача. Обязательное присутствие лица, отвечающего за задачу, в машинном зале во время решения задачи вовсе не обязательно. При наличии простой и ясной инструкции о порядке решения данной задачи она может быть решена «заочно».

Безусловно, необходимо иметь в распоряжении дежурного оператора резервные задачи, которые можно решать в случае, если по тем или иным причинам машина оказывается незагруженной. Для проведения работ на больших быстродействующих машинах целесообразно иметь дежурного оператора, отвечающего за соблюдения правил работы на машине, и дежурного диспетчера для более оперативного использования машины в режиме решения различных задач и проведения работ по отладке программ, в обязанности которого входит вызов того или иного исполнителя на машину, точный учет расхода машинного времени и контроль выполнения инструкций по подготовке программы и задачи для пуска на машине.

Существенное значение в рациональном использовании машины имеют вспомогательные программы оператора и программистов, облегчающие работу за пультом и программирование. В качестве примера таких программ можно привести 67-ю и 77-ю операции на «Стреле 1».

Следует остановиться на особенностях организации решения больших задач, вызванных наличием сбоев в работе машины.

Программа должна быть составлена таким образом, чтобы имела возможность прерывать и возобновлять решение без необходимости вторично считать значительную по времени часть задачи. При этом также следует считаться с возможностью случайной ошибки в работе машины в любой момент времени. Поэтому в том случае, когда результаты последующих просчетов зависят от просчетов предшествующих, прежде чем продолжать счет, необходимо убедиться в правильности полученных результатов. Наиболее простым и достаточно надежным средством в данном случае является

метод повторения части просчета с контрольным суммированием и сравнением контрольных сумм, хотя он и не гарантирует от ошибки в случае постоянной неисправности, для выявления которой необходимо иметь достаточно полную систему испытательных программ — «тестов». Следует обратить особое внимание на полноту проверки работы постоянных подпрограмм, имеющихся в машине.

Однако метод двойного просчета является тяжелым «налогом» за достоверность результатов. Борьба против этого налога вряд ли может с успехом вестись программным путем. Здесь необходимо техническое решение вопроса и в первую очередь повышение надежности работы различных узлов машины. Успешное решение этой проблемы повысило бы истинную производительность машин почти в 2 раза.

Потребность в современных быстродействующих вычислительных машинах огромна, а в дальнейшем будет несомненно расти.

При помощи каких машин и каким образом можно удовлетворить эту растущую потребность?

Прежде всего следует отметить, что быстродействие, а главное объем памяти имеющихся в нашем распоряжении больших машин БЭСМ и «Стрела» оказываются недостаточными для решения целого класса важных задач. Для некоторых задач нет даже перспективы решения их в ближайшем будущем, так как потребуются машины, производящие примерно 1 млн. операций в секунду.

С другой стороны, имеется потребность в проведении большого количества расчетов, которые далеко не используют всех возможностей больших машин, и с неменьшим успехом можно было бы решать на машинах, более медленных и простых. Кроме того, очевидно, что для полного использования мощности большой машины требуется работа большого коллектива, значительная часть которого должна состоять из специалистов высокой квалификации. Поэтому большие вычислительные машины следует выпускать лишь в расчете на крупные вычислительные центры, в которых возможно рациональное использование таких машин. Совершенно необходимо организовать также серийный выпуск небольших универсальных машин для научно-исследовательских и производственных целей. Основное внимание при создании такой машины должно быть обращено на удобство эксплуатации и надежность в работе. Такие машины смогут удовлетворять значительную часть потребности в расчетных работах. Эти же машины при достаточном быстродействии могут послужить основой для применения машин, работающих с реальными объектами на производстве и в военной технике.

В целях более полного использования мощности как больших, так и малых автоматических машин, необходимо решить задачу.

максимальной автоматизации программирования. Определенные положительные результаты в этом направлении уже достигнуты, но еще многое нужно сделать. В частности, слабо развит метод применения стандартных программ для автоматизации программирования. При условии выпуска большой серии одинаковых машин этот метод мог бы сыграть большую роль в освоении данных машин различными организациями, применяющими стандартные программы для автоматизации программирования.

О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Надо читать
4	9 сверху	по „формуле“ $\bar{u} = f(\bar{x})$,	по „формуле“ $\bar{u} = \bar{f}(\bar{x})$,
4	9. сверху	где f — вектор, t — функция	где f — вектор — функция
4	11 сверху	функция f задана	функция \bar{f} задана